

Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Schwingungsamplitude eines Ultraschallschwingers sowie Ultraschallschweißvorrichtung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Schwingungsamplitude eines Ultraschallschwingers einer Ultraschallschweißvorrichtung umfassend Schwingungen erzeugende bzw. übertragende Bauelemente in Form von zumindest einem Konverter und einer Sonotrode sowie gegebenenfalls zwischen dem Konverter und der Sonotrode angeordnetem Booster, wobei die Ultraschallschwingungen durch Beaufschlagen des Konverters mit einer von einer Steuerschaltung kommenden Hochfrequenzspannung erzeugt werden. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Ultraschallschweißvorrichtung umfassend Schwingungen erzeugende bzw. übertragende Bauelemente in Form von zumindest einem Konverter und einer Sonotrode sowie gegebenenfalls zwischen diesen angeordnetem Booster, eine der Sonotrode zugeordnete Gegenelektrode (Amboss), zwischen der und der Sonotrode zu verdichtende bzw. zu verschweißende Teile wie Litzen vorzugsweise in einem Verdichtungsraum anordbar sind, wobei der Konverter zur Schwingungserregung mit einer Amplitude über eine Steuerung mit Hochfrequenzspannung beaufschlagbar ist.

Um reproduzierbare Schweißergebnisse zu erzielen, ist es erforderlich, Schweißparameter zu überprüfen und dann, wenn vorgegebene Sollwerte unter- bzw. überschritten werden, zu regeln. So ist es z. B. nach der DE-A-198 10 509 bekannt, in ein Schweißgut eingekoppelte Ultraschallwellen nach Wechselwirkung mit einer Fügenschicht als Messsignal zu erfassen, um sodann mittels eines Messdatenspeichers und einer Auswerteeinheit für den Schweißprozess charakteristische Kenngrößen mit anschließender Ansteuerung der Sonotrode weiterzuverarbeiten.

**BESTÄTIGUNGSKOPIE**

Um Prozessparameter beim Ultraschallschweißen von Kunststoffteilen zu steuern bzw. zu regeln, sieht die DE-A-43 21 874 vor, dass zur Überwachung des Energieeintrags in eine Fügestelle zwischen zu verschweißenden Teilen die Fügekraft während des Schweißvorgangs gemessen wird.

Nach der EP-B-0 567 426 wird die Schwingungsamplitude einer Kunststoffteile verschweißenden Sonotrode nach einem vorbestimmten Zeitintervall reduziert, um sodann während der verbleibenden Zeit des Verschweißens bei verringerter Schwingungsamplitude zu arbeiten. Ein diesbezügliches Steuersignal zur Reduzierung der Amplitude kann direkt oder indirekt auch in Abhängigkeit von der auf die zu verschweißenden Werkstücke übertragene Leistung ausgelöst werden, wie dies z. B. der WO-A-1998/49009, der US-A-5,855,706, der US-A-5,658,408 oder der US-A-5,435,863 zu entnehmen ist.

Aus der WO-A-2002/098636 ist ein Verfahren zum Verschweißen von Kunststoffteilen bekannt, bei dem zur Optimierung des Schweißens während einer ersten Zeitspanne die Schwingungsamplitude einem vorgegebenen Verlauf folgend reduziert wird, um anschließend mit einem charakteristischen Parameter des Werkstücks zu messen und sodann in Abhängigkeit vom Wert des gemessenen Parameters mit konstanter Amplitude einer Ultraschallenergie übertragenen Sonotrode den Schweißprozess zu beenden.

Um durch Ultraschall-Drahtbonden hergestellte Verbindungen zu prüfen, sieht die DE-A-101 10 048 eine On-line-Überwachung unter Zugrundelegung von vorgegebenen bzw. gespeicherten Master-Werten vor, die Rückschlüsse auf die Festigkeit der Verbindung ermöglichen.

Ein Ultraschallschweißverfahren für beschichtete elektrische Drähte und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist aus der DE-A-102 11 264 bekannt. Um die Schweißenergie nach Entfernen der Isolierung und zum Verschweißen der Leiter selbst zu verändern, erfolgt eine Widerstandsmessung über den zwischen Sonotrode und Gegenelektrode fließenden Strom.

Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, mit dem auf einfache Weise die Schwingungsamplitude des Ultraschallschwingers gemessen bzw. geregelt werden kann.

Zur Lösung des Problems sieht die Erfindung im Wesentlichen vor, dass zumindest einem Bauelement des Ultraschallschwingers ein die Schwingungsamplitude erfassender Sensor zugeordnet wird und von dem Sensor ermittelte den Schwingungsamplituden entsprechende Signale überwacht und/oder mit Sollsignalen in der Steuerschaltung oder Mess- und Überwachungseinrichtung verglichen und in Abhängigkeit von auftretenden Abweichungen zwischen Ist- und Sollsignalen die den Konverter beaufschlagende Hochfrequenzspannung oder beaufschlagender Hochfrequenzstrom verändert wird. Es erfolgt ein Regelprozess.

Erfindungsgemäß erfolgt eine sogenannte Amplitudenrückführung, um die Amplitude des Ultraschallschwingers derart zu regeln, dass reproduzierbare und optimale Schweißergebnisse erzielbar sind. Die Amplitudenrückführung dient aber auch dazu, unterschiedliche Schwinger aufeinander abzustimmen, um etwaige Amplitudenabweichungen zwischen den einzelnen Schwingern kompensieren zu können. Ferner bietet die Amplitudenrückführung die Möglichkeit, alterungsbedingte Amplitudenänderungen eines Ultraschallschwingers zu kompensieren.

Aber auch Grenztemperaturen am Konverter durch Frequenzverschiebung des Arbeitspunktes können erfasst und somit ausgeglichen werden. Schließlich kann bei Auftreten unzulässig hoher Amplituden die Ultraschallschwingungserzeugung unterbrochen werden, so dass Sicherheitsfunktionen Genüge getan wird.

Ferner ist aufgrund der erfindungsgemäßen Lehre die Möglichkeit gegeben, Alterungen von die Schwingungen erzeugenden piezokeramischen Scheiben oder Veränderungen elektrischer Größen wie Hochfrequenzspannungssignal der Steuerung wie dem Generator zu erfassen. Auch ist durch die Amplitudenrückführung das Last-Leerlaufverhalten des Konverters erfassbar.

Als Sensor kann insbesondere ein piezokeramischer Sensor verwendet werden. Ein solcher kann in dem Konverter integriert werden, wobei neben den aktiven Piezokeramikscheiben,

über die die Ultraschallschwingungen erzeugt werden, eine piezokeramische Scheibe benutzt wird, von der aufgrund der über die anderen Piezokeramikscheiben erzeugten Druckbeaufschlagungen Signale zur Bestimmung der Amplitude erzeugt und abgegriffen werden. Aber auch eine optische Erfassung der Amplituden z. B. mittels eines Lasers ist möglich. Weitere Sensoren wie ohmscher Sensor wie Dehnmessstreifensensor, Beschleunigungssensoren oder akustische Sensoren können gleichfalls verwendet werden.

Wird der Sensor vorzugsweise am bzw. im Konverter integriert, so ist auch die Möglichkeit gegeben, einen entsprechenden Sensor an oder im Booster, an oder in der Sonotrode, am Konvertergehäuse oder einer Lagerung bzw. Aufnahme des Ultraschallschwingers anzuordnen, um die gewünschten Signale zu generieren und somit eine Überwachung bzw. Steuerung der Amplitude zu ermöglichen.

Um eine optimale Amplitudenerfassung und somit Rückführung zu ermöglichen, ist vorgesehen, dass der Sensor im Schwingungsmaximum des Bauelementes, insbesondere des Konverters angeordnet ist. Dabei sollte die Masse des Sensors derart ausgelegt sein, dass eine merkbare Massenverfälschung des Bauelementes selbst nicht erfolgt. Ferner sollte der Sensor mit dem Bauelement derart verbunden sein, dass der Sensor in Resonanz mit dem Bauelement schwingt.

Ausgewertet können die Signale des Sensors dadurch werden, dass die von dem Sensor erzeugten Wechsignale mit denen des Hochfrequenzstroms bzw. der Hochfrequenzspannungsquelle verglichen werden. Auch besteht die Möglichkeit, die von dem Sensor abgegriffenen Wechselspannungssignale gleichzurichten und der Steuerung als Gleichspannungssignale für Regelzwecke zur Verfügung zu stellen. Dabei sollte der Istwert der Gleichspannungssignale zwischen 0 und 10 V liegen.

In Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuersignale an einem Eingang eines Differenzverstärkers mit Komparator anliegen, dass am anderen Eingang des Differenzverstärkers die Hochfrequenzstrom- bzw. Hochfrequenzspannungssignale der Steuerung anliegen und dass Ausgangssignal des Komparators der Regelung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms zu Grunde gelegt wird.

Um die Schwingfrequenz zu ermitteln, ist des Weiteren vorgesehen, dass die Sensorsignale einem Komparator zugeführt werden und in Spannungsimpulse mit Schwingfrequenz der Signale umgeformt und einem Zähler zugeführt werden. Die Signale können dabei an einem Zählereingang z. B. einer SPS-Steuerung anliegen.

Die Erfindung zeichnet sich insbesondere auch durch eine Ultraschallschweißvorrichtung der eingangs genannten Art dadurch aus, dass zumindest einem Bauelement ein die Amplitude erfassender Sensor zugeordnet ist. Insbesondere ist der Sensor ein piezokeramischer Sensor. Ein induktiv arbeitender oder kapazitiv arbeitender Sensor, ein Widerstandssensor wie Dehnmessstreifensensor, ein optischer Sensor oder ein Beschleunigungssensor kann gleichfalls eingesetzt werden. Unabhängig hiervon kann der Sensor am oder im Konverter, am oder im Booster, an oder in der Sonotrode, in einem den Konverter umgebenden Gehäuse oder in einer Lagerung des Ultraschallschwingers angeordnet sein. Auch am Grundkörper des Schweißmoduls, also der Aufnahme für den Schwinger und den Verdichtungsraum kann ein Sensor angeordnet sein. In diesem Fall ist der Sensor zur Erfassung der Amplitude ein berührungslos arbeitender wie optischer Sensor.

Bevorzugterweise wird jedoch ein piezokeramischer Sensor benutzt. Daher zeichnet sich die Erfindung auch durch eine Ultraschallschweißvorrichtung aus, bei der der Konverter mehrere in Schwingungen versetzbare erste piezokeramische Scheiben umfasst, die zwischen einer Konvertermutter und einem Zapfen angeordnet und zwischen diesen durch ein erstes Bolzenelement verspannt sind, das über Außenfläche des Resonatorkörpers vorsteht, wobei das erste Bolzenelement ein von konvertermutterseitig verlaufender Stirnfläche ausgehendes Sackloch mit Innengewinde aufweist, in das ein zweites Bolzenelement schraubbar ist, über das der piezokeramische Sensor gegenüber dem ersten Bolzen verspannt ist. Der piezokeramische Sensor umfasst dabei insbesondere zwei piezokeramische Lochscheiben, die jeweils einen Außendurchmesser  $AD$  mit insbesondere  $15\text{ mm} \leq AD \leq 10\text{ mm}$  und/oder einen Innendurchmesser  $ID$  mit  $8\text{ mm} \leq ID \leq 4\text{ mm}$  und/oder eine Dicke  $D$  mit  $1,5\text{ mm} \leq D \leq 0,5\text{ mm}$  aufweisen. Die zum Abgreifen der Signale erforderlichen und auf jeweiliger Außenfläche der piezokeramischen Lochscheiben verlaufenden Elektroden sind vorzugsweise Einbrennsilberelektroden. Dabei liegen die Außenelektroden auf Massepotenzial.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen -für sich und/oder in Kombination-, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Ultraschallschweißvorrichtung mit Peripherie,

Fig. 2 eine erste Ausführungsform eines Konverters mit Sensor,

Fig. 3 eine zweite Ausführungsform eines Konverters mit Sensor,

Fig. 4 eine dritte Ausführungsform eines Konverters mit Sensor,

Fig. 5 einen Booster mit einem Sensor,

Fig. 6 eine Sonotrode mit Sensor,

Fig. 7 einen Ausschnitt eines Konverters,

Fig. 8 Signalkurven,

Fig. 9 eine erste Auswerteschaltung,

Fig. 10 ein aus der ersten Auswerteschaltung gewonnenes Signal,

Fig. 11 eine zweite Auswerteschaltung,

Fig. 12 ein aus der zweiten Auswerteschaltung gewonnenes Signal,



Fig. 13 eine dritte Auswerteschaltung und

Fig. 14 aus der dritten Auswerteschaltung gewonnene Signale.

In Fig. 1 ist rein prinzipiell eine Anordnung zum Verschweißen von Teilen, insbesondere Litzen mittels Ultraschall dargestellt. Die Anordnung umfasst eine Ultraschallschweißvorrichtung oder -maschine 10, die in gewohnter Weise einen Konverter 12 und eine Sonotrode 14 sowie eine dieser zugeordnete Gegenelektrode oder Amboss 15 umfasst. Im Ausführungsbeispiel ist zur Amplitudenverstärkung zwischen dem Konverter 12 und der Sonotrode 14 ein Booster 16 angeordnet, über den der Ultraschallschwinger 17, der aus dem Konverter 12, der Sonotrode 14 und dem Booster 16 besteht, gelagert wird. Die der Sonotrode 14 bzw. dessen eine Schweißfläche aufweisenden Sonotrodenkopf zugeordnete Gegenelektrode 15 kann mehrteilig ausgebildet sein, wie dies in der US-A-4,596,352 oder der US-A-4,869,419 beschrieben ist, um einen im Querschnitt verstellbaren Verdichtungsraum zur Verfügung zu stellen, in den die zu verschweißenden Elemente wie Leiter eingebracht werden.

Der Konverter 12 wird über eine Leitung 18 mit einem Generator 20 verbunden, der seinerseits über eine Leitung 22 mit einem Rechner 24 verbunden ist. Über den Generator 20 wird der Konverter 12, d. h. die in diesem angeordneten Piezokeramikscheiben mit Hochfrequenzspannung beaufschlagt, um die Scheiben entsprechend zu dehnen bzw. zu kontrahieren, wodurch Ultraschallschwingungen mit einer Amplitude erzeugt werden, die über den Booster 16 auf die Sonotrode 14 übertragen werden.

Um die Amplitude zu erfassen und zu überwachen bzw. auf gewünschte Sollwerte regeln zu können, erfolgt erfindungsgemäß eine sogenannte Amplitudenrückführung, d. h., dass die Amplitude eines Bauelements des Ultraschallschwingers 17, d. h. des Konverters 12 und/oder des Boosters 16 und/oder der Sonotrode 14 gemessen und auf die Steuerung 20 zurückgeführt wird, um gemessene Ist-Amplituden mit in dem Rechner 24 abgelegten Soll-Amplitudenwerten oder Soll-Amplitudenbereichen zu vergleichen.

Soll-Amplitudenbereiche bedeuten dabei eine Bandbreite von ordnungsgemäß bewerteten Soll-Amplituden. Ist jedoch die Ist-Amplitude oberhalb oder unterhalb der Soll-Amplituden-

Bandbreite gelegen, so kann ein Nachregeln der Hochfrequenzspannung in dem in der Steuerung 20 vorhandenen Generator erfolgen, um die Ist-Amplitude zu verändern.

Um die Amplitude zu erfassen, d. h. einen Sensor einem Bauelement des Schwingersystems 15 zuzuordnen, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, von denen beispielhaft einige den Fig. 2 bis 6 zu entnehmen sind.

Bevorzugterweise wird ein Sensor 26 im oder am Konverter 12 integriert bzw. angeordnet. So kann der Sensor 26 ein piezokeramischer Sensor sein, der zusammen mit den im Konverter 12 vorhandenen weiteren piezokeramischen Scheiben 28, 30, 32, 34 angeordnet ist, die in bekannter Weise mit einer Hochfrequenzspannung beaufschlagt werden, um durch Dehnen bzw. Kontrahieren der piezokeramischen Scheiben 28, 30, 32, 34 die Ultraschallschwingungen mit einer gewünschten Amplitude und einer gewünschten Frequenz zu erzeugen. Die Scheiben 28, 30, 32, 34 sind infolgedessen aktive Teile, wohingegen der Sensor 26 als passives Teil zu bezeichnen ist, da durch den auf den Sensor 26 von den Scheiben 28, 30, 32, 34 übertragenen Druck ein Hochfrequenzsignal erzeugt wird, das eine Aussage über die Amplitude bietet.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 3 ist ein Sensor 36 an rückseitiger Stirnfläche des Konverters 12, also außenseitig am Resonator oder Konvertermutter angeordnet und mit diesem verspannt, um ebenfalls in Abhängigkeit von der durch die Scheiben 28, 30, 32, 34 erzeugten Schwingungsamplituden ein Signal zu erzeugen.

Ein Sensor 38 kann jedoch auch im Zapfen des Konverters 12 angeordnet sein, wie die Fig. 4 verdeutlicht.

Ist bevorzugterweise der Sensor im oder am Konverter angeordnet, so besteht auch die Möglichkeit, einen Sensor 40 in dem Booster 16 zu integrieren, wie die Fig. 5 zeigt.

Eine entsprechende Konstruktion kann auch hinsichtlich der Sonotrode 14 erfolgen. Nach der zeichnerischen Darstellung der Fig. 6 ist eine vorzugsweise piezokeramische Scheibe als Sensor 42 in der Sonotrode 14, d. h. zwischen Abschnitten 44, 46 festgespannt, wobei – wie bei



den Ausführungsformen der Fig. 2 bis 5 – der Sensor 42 eine Ebene aufspannt, die senkrecht zur Schwingerlängsachse verläuft.

Ist erwähnenswerterweise ein piezokeramischer Sensor als Amplitudensensor zu nennen, so sind andere Sensoren ebenfalls geeignet. Beispielhaft sind induktive, kapazitive, optische wie Lasersensoren, akustische Sensoren, Beschleunigungssensoren oder Widerstandssensoren wie Messstreifensensoren zu nennen.

Anhand der Fig. 7 sei rein prinzipiell die Anordnung eines piezoelektrischen Sensors 48 verdeutlicht, der im Ausführungsbeispiel zwei piezokeramische Lochscheiben 50, 52 umfasst, die in bekannter Weise von nicht näher bezeichneten Elektroden begrenzt sind, um Signale abgreifen zu können, die der Schwingungsamplitude eines Konverters 54 einer Ultraschallschweißvorrichtung entspricht, wie diese prinzipiell der Fig. 1 zu entnehmen ist.

Der Konverter 54 weist im Ausführungsbeispiel vier erste piezokeramische Lochscheiben 56, 58, 60, 62 auf, an dem eine von dem Generator, d. h. der Steuerung 20 kommende Hochfrequenzspannung anliegt, um die Scheiben 56, 58, 60, 62 zu kontrahieren bzw. zu dehnen, wodurch Schwingungen gewünschter Amplitude erzeugt werden. Die piezokeramischen Lochscheiben 56, 58, 60, 62 sind zwischen einem sogenannten Konverterzapfen 66, der mit einem Booster oder unmittelbar mit einer Sonotrode verbunden ist, und einer Konvertermutter 68 – auch Resonator genannt – über ein erstes Bolzenelement 70 verspannt. Insoweit wird jedoch auf hinlänglich bekannte Konstruktionen verwiesen. Der Bolzen 70 steht über der Konvertermutter 68 vor und weist von dessen Stirnfläche 72 ausgehend ein Sackloch 74 mit Innengewinde auf, in dem ein zweiter Bolzen 76 eingeschraubt wird, über den die piezokeramischen Lochscheiben 50, 52 zwischen der Stirnfläche 72 des ersten Bolzenelements 70 und einer Mutter 78 verspannt werden. Dabei verläuft der aus den piezokeramischen Scheiben 50, 52 gebildete Sensor 48 im Schwingungsmaximum des Konverters 54 und ist mit diesem derart kraftschlüssig über den zweiten Bolzen 76 verbunden, dass ein Schwingen in Resonanz mit dem Konverter 54 erfolgt.

Sind die ersten piezokeramischen Lochscheiben 56, 58, 60, 62, über die die Schwingungen im Konverter 54 erzeugt werden, als aktive Bauteile zu bezeichnen, so sind die zweiten piezoke-

ramischen Lochscheiben 50, 52 passive Bauteile, da über diese in Abhängigkeit von der Amplitude des Konverters 54 Signale erzeugt und einer Auswerteschaltung zugeführt werden, um die an den piezokeramischen Scheiben 56, 58, 60, 62 anliegende Hochfrequenzspannung derart zu regeln, dass der Konverter 54 gewünschte Amplituden aufweist, die wiederum definierte Rückschlüsse auf die Amplitude des Boosters bzw. der Sonotrode des Schwingersystems ermöglichen.

Dabei kann ein Kalibrieren der Ausgangssignale des Sensors 48 dadurch erfolgen, dass z. B. mittels eines Lasers die Amplitude des Konverters 54 bestimmt wird und das Ausgangssignal des Sensors 48 auf ein normiertes Signal kalibriert wird. Entsprechende Werte können sodann in einem Chip abgelegt werden, der dem Schwinger bzw. dem Konverter 54 zugeordnet wie z. B. an diesem befestigt ist.

Dass die von dem Sensor abgegriffenen Signale unmittelbar Aussagen über die Amplituden des Konverters 54 ermöglichen, ist prinzipiell der Fig. 8 zu entnehmen. So sind eine Hochfrequenzstrommesskurve 80, die dem zum Konverter fließenden Hochfrequenzstrom entspricht, und eine Kurve 82 dargestellt, die den Signalen des Sensor 48 entspricht. Ein unmittelbarer Vergleich zeigt, dass der Kurvenverlauf des Sensors 48 eindeutig dem Kurvenverlauf des Hochfrequenzstroms zuzuordnen ist.

Um die Sensorsignale auszuwerten, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, von denen einige beispielhaft den Fig. 9 bis 14 zu entnehmen sind.

So kann ein Differenzverstärker 84 mit Komparator zur Signalauswertung benutzt werden. An den Eingängen 86, 88 des Differenzverstärkers 84 liegen die Sensorsignale bzw. Hochfrequenzstrom- bzw. Spannungssignale des Generators an. Die Signale werden verglichen und bei unzulässiger Abweichung wird ein Signal erzeugt, das von der Steuerschaltung ausgewertet werden kann. Es ergibt sich dabei eine Signalform, die der Fig. 10 entspricht. Die erhaltenen Signale werden dann an den Digitaleingang einer Steuerung gelegt, um eine Regelung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms, der an den piezokeramischen Scheiben 56, 58, 60, 62 anliegt bzw. zum Konverter fließt, durchzuführen.

Auch besteht die Möglichkeit, mittels einer Gleichrichterschaltung 90 die Steuersignale auszuwerten, wie die Fig. 11 und 12 verdeutlichen. Über den Gleichrichter 90 wird ein analoges Gleichspannungssignal erzeugt, das im Bereich zwischen 0 und 10 V liegt und von der Steuerung ausgewertet werden kann. Das entsprechende Signal wird sodann einem Analogeingang einer Steuerung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms zugeführt.

Zur Ermittlung der Schwingfrequenz des Konverters 54 kann das Steuersignal an einen Eingang 92 eines Komparators 94 mit Hysterese anliegen. Zur Ermittlung der Schwingfrequenz wird das Sensorsignal in Impulse mit der Schwingfrequenz umgeformt und einem Zählereingang einer Steuerung wie SPS-Steuerung zugeführt.

## Patentansprüche

### Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Schwingungsamplitude eines Ultraschallschwingers sowie Ultraschallschweißvorrichtung

1. Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Schwingungsamplitude eines Ultraschallschwingers einer Ultraschallvorrichtung umfassend Schwingungen erzeugende bzw. übertragende Bauelement in Form von zumindest einem Konverter und einer Sonotrode sowie gegebenenfalls zwischen dem Konverter und der Sonotrode angeordnetem Booster, wobei zur Erzeugung der Ultraschallschwingungen der Konverter mit einer Steuerschaltung wie Generator verbunden ist, über die dem Konverter Hochfrequenzspannung bzw. -strom zur Erzeugung der Ultraschallschwingungen zugeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zumindest einem Bauelement ein die Schwingungsamplituden erfassender Sensor zugeordnet wird und von dem Sensor ermittelte Schwingungsamplituden entsprechende Ist-Signale überwacht und/oder mit Soll-Signalen in der Steuerschaltung oder einer Mess- und Überwachungseinrichtung verglichen und in Abhängigkeit von auftretenden Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Signalen ein Ausgangssignal der Steuerschaltung zur Erzeugung der Ultraschallschwingungen entsprechend verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass von dem Sensor durch die Schwingungsamplituden generierte Wechsignale und/oder aus diesen abgeleitete Gleichspannungssignale der Steuerschaltung bzw. Mess- und Überwachungseinrichtung zur Regelung des Ausgangssignals bzw. der Ausgangssignale zugeführt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Steuersignale mit an dem Konverter bzw. dessen piezokeramischen Scheiben anliegender Hochfrequenzspannung bzw. fließendem Hochfrequenzstrom einem Differenzverstärker mit Komparator zugeführt und Ausgangssignal des Komparators der Regelung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms zu Grunde gelegt wird.
4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Sensorsignale einer Gleichrichterschaltung zugeführt und Ausgleichsspannungssignal der Gleichrichterschaltung der Regelung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms zu Grunde gelegt werden.
5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Sensorsignale einem Komparator zugeführt und in Spannungsimpulse mit Schwingfrequenz der Signale umgeformt und einem Zähler zugeführt werden.
6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass als Sensor ein piezokeramischer Sensor verwendet wird.
7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass als Sensor ein induktiv arbeitender und/oder ein kapazitiv arbeitender Sensor und/oder ein Widerstandssensor wie Dehnmessstreifensensor und/oder ein optischer Sensor wie Lasersensor und/oder ein Beschleunigungssensor verwendet wird.
8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor am oder im Konverter angeordnet bzw. integriert wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor am oder im Booster angeordnet bzw. integriert wird.
10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor an oder in der Sonotrode angeordnet bzw. integriert wird.
11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Konverter von einem Gehäuse umgeben ist, in dem der Sensor angeordnet wird.
12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in der Lagerung des Ultraschallschwingers der Sensor angeordnet wird.
13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor an einem den Schwinger aufnehmenden Grundkörper der Ultraschallschweißvorrichtung angeordnet wird.
14. Ultraschallschweißvorrichtung umfassend Schwingungen erzeugende bzw. übertragende Bauelemente in Form von zumindest einem Konverter (12, 54) und einer Sonotrode (14) sowie gegebenenfalls zwischen diesen angeordnetem Booster (16), eine der Sonotrode zugeordnete Gegenelektrode (Amboss) (15), zwischen der und der Sonotrode zu verdichtende bzw. zu verschweißende Teile wie Litzen vorzugsweise in einem Verdichtungsraum anordbar sind, wobei der Konverter zur Schwingungsanregung mit einer Amplitude über eine Steuerung (22) mit Hochfrequenzspannung beaufschlagbar ist, bzw. zu diesem ein Hochfrequenzstrom fließt,  
dadurch gekennzeichnet,



dass zumindest einem Bauelement (12, 14, 16) ein die Amplitude erfassender Sensor (26, 36, 38, 40, 42, 48) zugeordnet ist.

15. Ultraschallschweißvorrichtung nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor ein piezokeramischer Sensor (26, 36, 38, 40, 42, 48) ist.
16. Ultraschallschweißvorrichtung nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor ein induktiv arbeitender oder kapazitiv arbeitender Sensor oder ein Widerstandssensor wie Dehnmessstreifensensor oder ein optischer Sensor wie Lasersensor oder ein Beschleunigungssensor ist.
17. Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 16,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sensor (26, 36, 38, 40, 42, 48) am oder im Konverter (12, 54) und/oder am oder im Booster (16) und/oder an oder in der Sonotrode (14) angeordnet bzw. integriert ist.
18. Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 17,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Konverter (12) von einem Gehäuse umgeben ist, in dem der Sensor angeordnet ist.
19. Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 18,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in Lagerung des Ultraschallschwingers der Sensor angeordnet ist.
20. Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 19,  
dadurch gekennzeichnet,

dass der Sensor am den Schwinger aufnehmenden Grundkörper der Ultraschallschweißvorrichtung (10) angeordnet ist.

21. Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 20, wobei der Konverter (54) mehrere in Schwingungen versetzbare erste piezokeramische Scheiben (56, 58, 60, 62) umfasst, die zwischen einem Zapfen (66) und einer Mutter (68) angeordnet und zwischen diesen durch ein erstes Bolzenelement (70) verspannt sind, der über Außenfläche der Konvertermutter vorsteht,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das erste Bolzenelement (70) ein von konvertermutterseitig verlaufender Stirnfläche (72) ausgehendes Sackloch (74) mit Innengewinde aufweist, in das ein zweites Bolzenelement (76) schraubbar ist, über das der piezokeramische Sensor (48) gegenüber dem ersten Bolzenelement verspannt ist.
22. Ultraschallschweißvorrichtung nach Anspruch 21,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der piezokeramische Sensor (48) zumindest zwei piezokeramische Lochscheiben (50, 52) umfasst, die jeweils einen Außendurchmesser AD mit  $15 \text{ mm} \leq AD \leq 10 \text{ mm}$  und/oder einen Innendurchmesser ID mit  $8 \text{ mm} \leq ID \leq 4 \text{ mm}$  und/oder eine Dicke D mit  $1,5 \text{ mm} \leq D \leq 0,5 \text{ mm}$  aufweisen.
23. Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 21 und 22,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die piezokeramischen Lochscheiben (50, 52) aus Einbrennsilber bestehende Elektroden aufweisen.

## GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 14. November 2005 (14.11.2005) eingegangen;  
ursprüngliche Ansprüche 1-23 durch geänderte Ansprüche 1-11 ersetzt (4 Seiten)]

Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Schwingungsamplitude eines Ultraschall-  
schwingers sowie Ultraschallschweißvorrichtung

1. Ultraschallschweißvorrichtung umfassend Schwingungen erzeugende bzw. übertragende Bauelemente in Form von zumindest einem Konverter (12, 54) und einer Sonotrode (14) sowie gegebenenfalls zwischen diesen angeordnetem Booster (16), eine der Sonotrode zugeordnete Gegenelektrode (Amboss) (15), zwischen der und der Sonotrode zu verdichtende bzw. zu verschweißende Teile wie Litzen vorzugsweise in einem Verdichtungsraum anordbar sind, wobei der Konverter mehrere in Schwingungen versetzbare erste piezokeramische Scheiben (56 58, 60,62) umfasst, die zwischen einem Zapfen (66) und einer Mutter (68) angeordnet und zwischen diesen durch ein erstes Bolzenelement (70) verspannt sind, und wobei zumindest einem Bauelement ein die Amplitude des in Schwingung versetzten Bauelementes erfassender piezoelektrischer Sensor (48) zugeordnet ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das erste Bolzenelement (70) ein von konvertermutterseitig verlaufender Stirnfläche (72) ausgehendes Sackloch (74) mit Innengewinde aufweist, in das ein zweites Bolzenelement (76) schraubbar ist, über das der piezokeramische Sensor (48) gegenüber dem ersten Bolzenelement verspannt ist.
2. Ultraschallschweißvorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der piezokeramische Sensor (48) zumindest zwei piezokeramische Lochscheiben (50, 52) umfasst, die jeweils einen Außendurchmesser AD mit  $15 \text{ mm} \leq AD \leq 10 \text{ mm}$  und/oder einen Innendurchmesser ID mit  $8 \text{ mm} \leq ID \leq 4 \text{ mm}$  und/oder eine Dicke D mit  $1,5 \text{ mm} \leq D \leq 0,5 \text{ mm}$  aufweisen.

**GEÄNDERTE ANSPRÜCHE**

[beim Internationalen Büro am 14. November 2005 (14.11.2005) eingegangen;  
ursprüngliche Ansprüche 1-23 durch geänderte Ansprüche 1-11 ersetzt (4 Seiten)]

3. Ultraschallschweißvorrichtung nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die piezokeramischen Lochscheiben (50, 52) aus Einbrennsilber bestehende Elektroden aufweisen.
4. Konverter (12, 54) einer Ultraschallschweißvorrichtung, der mit einer Hochfrequenzspannung bzw. einem Hochfrequenzstrom in eine Amplitude aufweisende Schwingung versetzbar ist, wobei der Konverter mehrere in Schwingungen versetzbare erste piezokeramische Scheiben (56, 58, 60, 62) umfasst, die zwischen einem Zapfen (66) und einer Mutter (68) angeordnet und zwischen diesen durch ein erstes Bolzenelement (70) verspannt sind,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das erste Bolzenelement (70) ein von konvertermutterseitig verlaufender Stirnfläche (72) ausgehendes Sackloch (74) mit Innengewinde aufweist, in das ein zweites Bolzenelement (76) schraubbar ist, über das ein piezokeramischer Sensor (48) als ein die Amplitude erfassender Sensor gegenüber dem ersten Bolzenelement verspannt ist.
5. Konverter nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der piezokeramische Sensor (48) zumindest zwei piezokeramische Lochscheiben (50, 52) umfasst, die jeweils einen Außendurchmesser AD mit  $15 \text{ mm} \leq AD \leq 10 \text{ mm}$  und/oder einen Innendurchmesser ID mit  $8 \text{ mm} \leq ID \leq 4 \text{ mm}$  und/oder eine Dicke D mit  $1,5 \text{ mm} \leq D \leq 0,5 \text{ mm}$  aufweisen.
6. Konverter nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die dass die piezokeramischen Lochscheiben (50, 52) aus Einbrennsilber bestehende Elektroden aufweisen.

## GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 14. November 2005 (14.11.2005) eingegangen;  
ursprüngliche Ansprüche 1-23 durch geänderte Ansprüche 1-11 ersetzt (4 Seiten)]

7. Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Amplitude des Konverters einer Ultraschallschweißvorrichtung nach zumindest Anspruch 1 oder 3, wobei der Konverter mit einer Steuerschaltung wie Generator verbunden ist, über die dem Konverter Hochfrequenzspannung bzw. -strom zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen zugeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass den von dem piezoelektrischen Sensor ermittelten Amplituden entsprechende Ist-Signale mit Soll-Signalen in der Steuerschaltung oder einer Mess- und Überwachungseinrichtung verglichen und in Abhängigkeit von auftretenden Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Signalen ein Ausgangssignal der Steuerschaltung verändert wird, über das die Ultraschallschwingung erzeugt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass von dem Sensor durch die Schwingungsamplituden generierte Wechselsignale und/oder aus diesen abgeleitete Gleichspannungssignale der Steuerschaltung bzw. Mess- und Überwachungseinrichtung zur Regelung des Ausgangssignals bzw. der Ausgangssignale zugeführt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Steuersignale mit an dem Konverter bzw. dessen piezokeramischen Scheiben anliegender Hochfrequenzspannung bzw. fließendem Hochfrequenzstrom einem Differenzverstärker mit Komparator zugeführt und Ausgangssignal des Komparators der Regelung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms zu Grunde gelegt wird.
10. Verfahren nach zumindest Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Sensorsignale einer Gleichrichterschaltung zugeführt und Ausgleichsspannungssignal der Gleichrichterschaltung der Regelung der Hochfrequenzspannung bzw. des Hochfrequenzstroms zu Grunde gelegt werden.

**GEÄNDERTE ANSPRÜCHE**

[beim Internationalen Büro am 14. November 2005 (14.11.2005) eingegangen;  
ursprüngliche Ansprüche 1-23 durch geänderte Ansprüche 1-11 ersetzt (4 Seiten)]

11. Verfahren nach zumindest Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Sensorsignale einem Komparator zugeführt und in Spannungsimpulse  
mit Schwingfrequenz der Signale umgeformt und einem Zähler zugeführt wer-  
den.



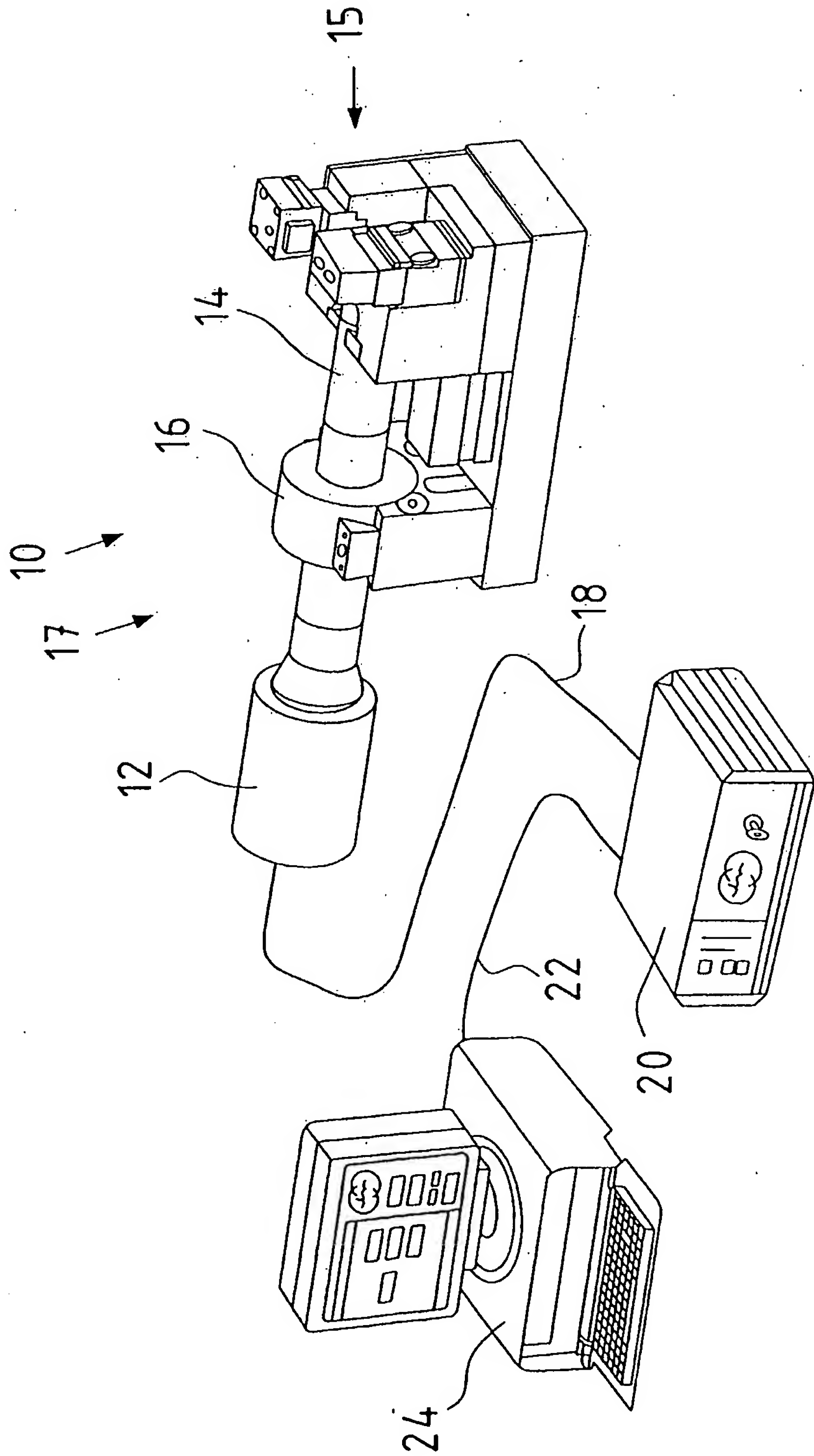


Fig. 1

Fig.2

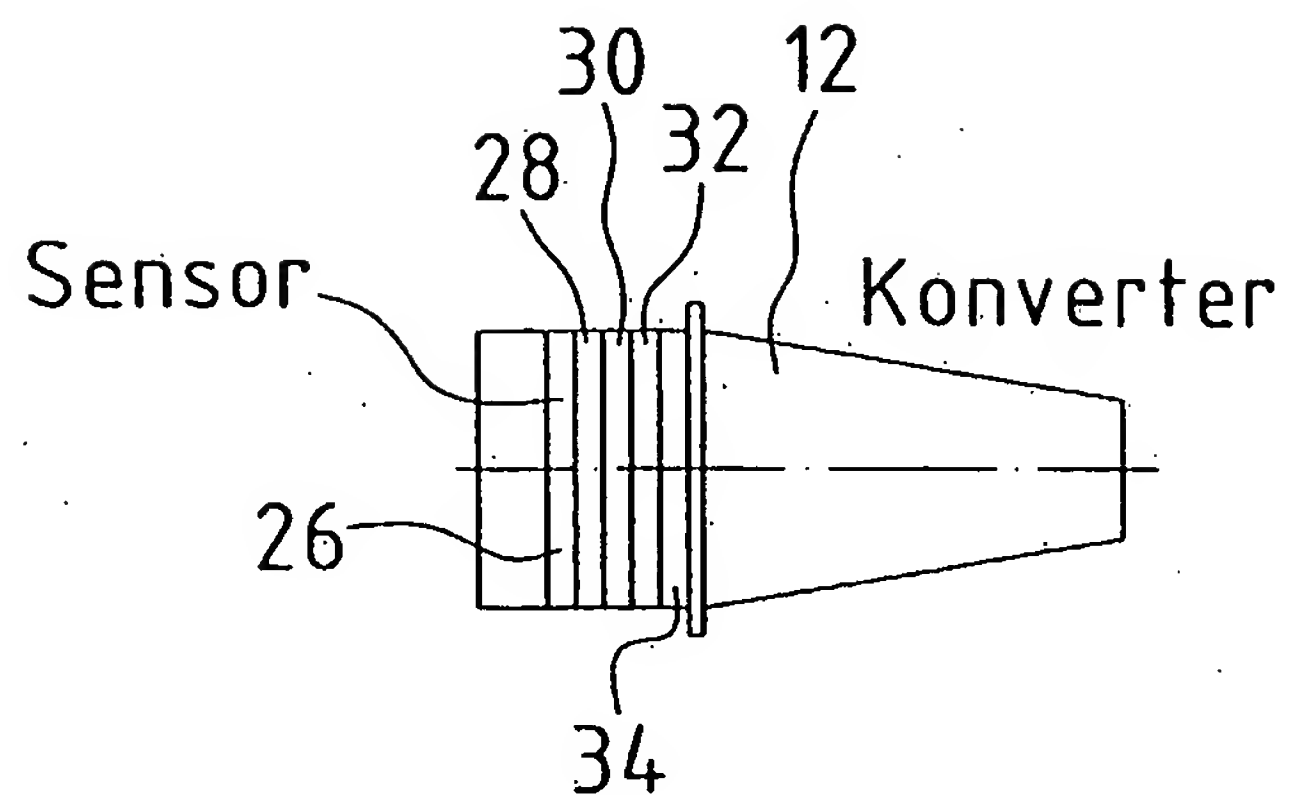


Fig.3

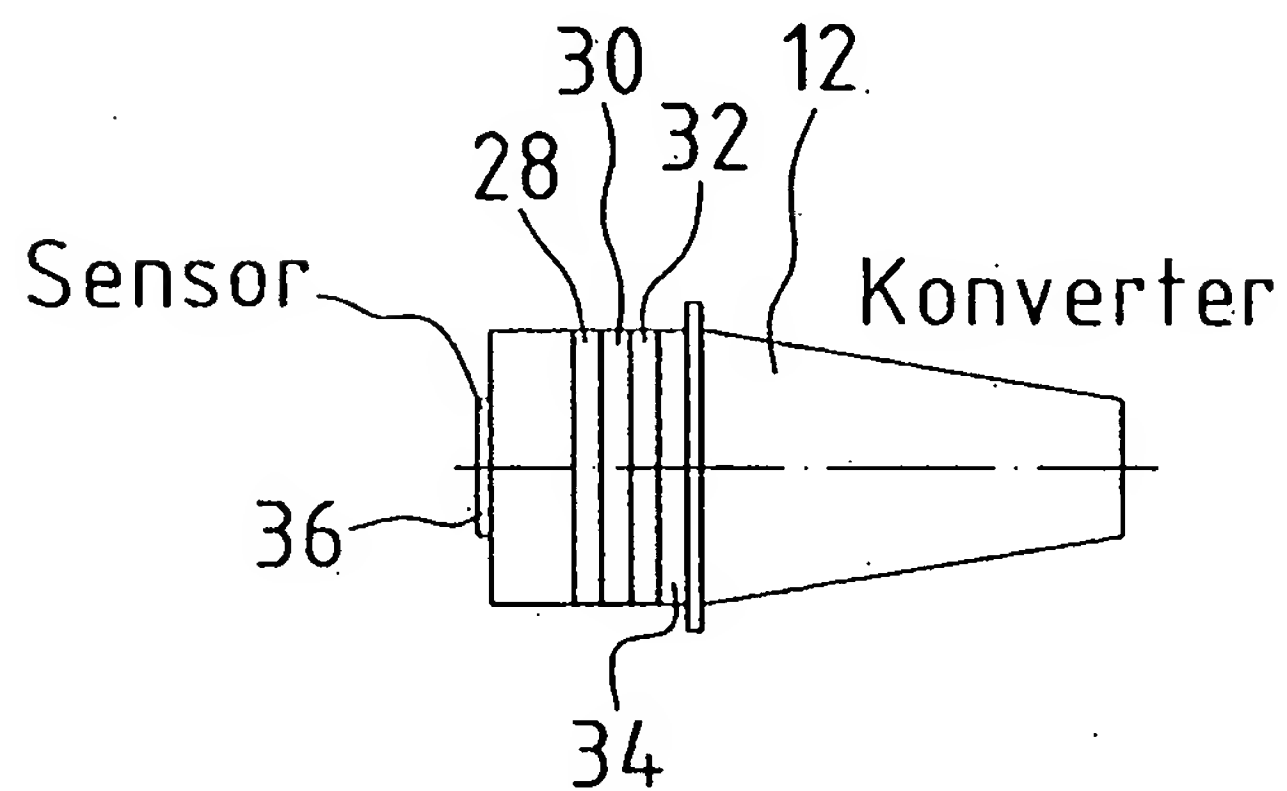
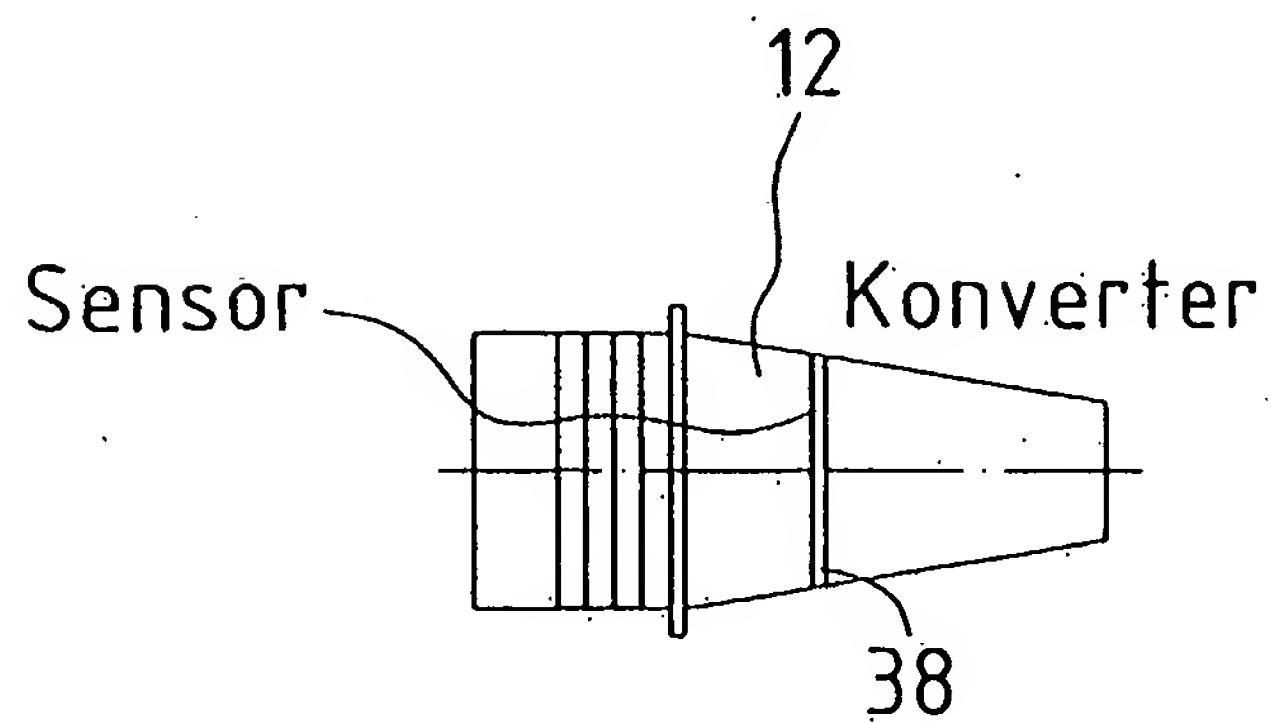
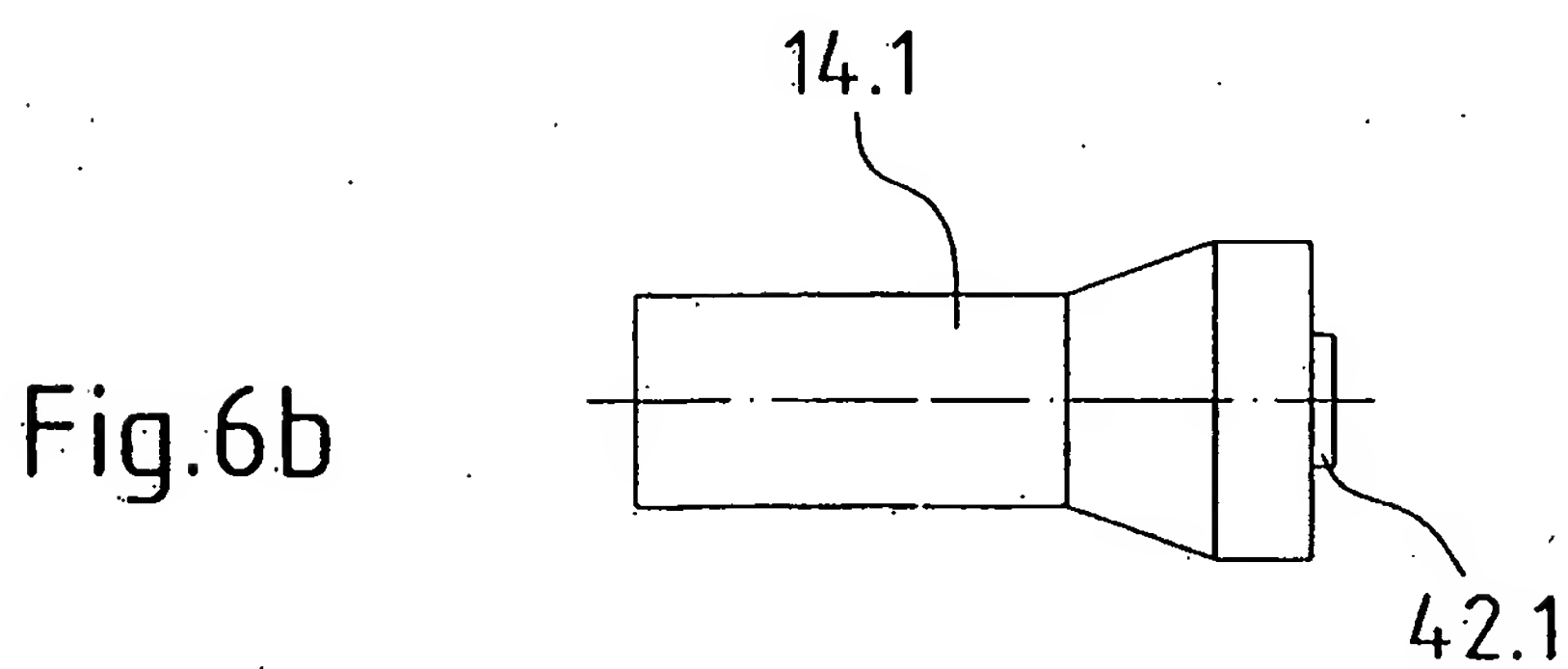
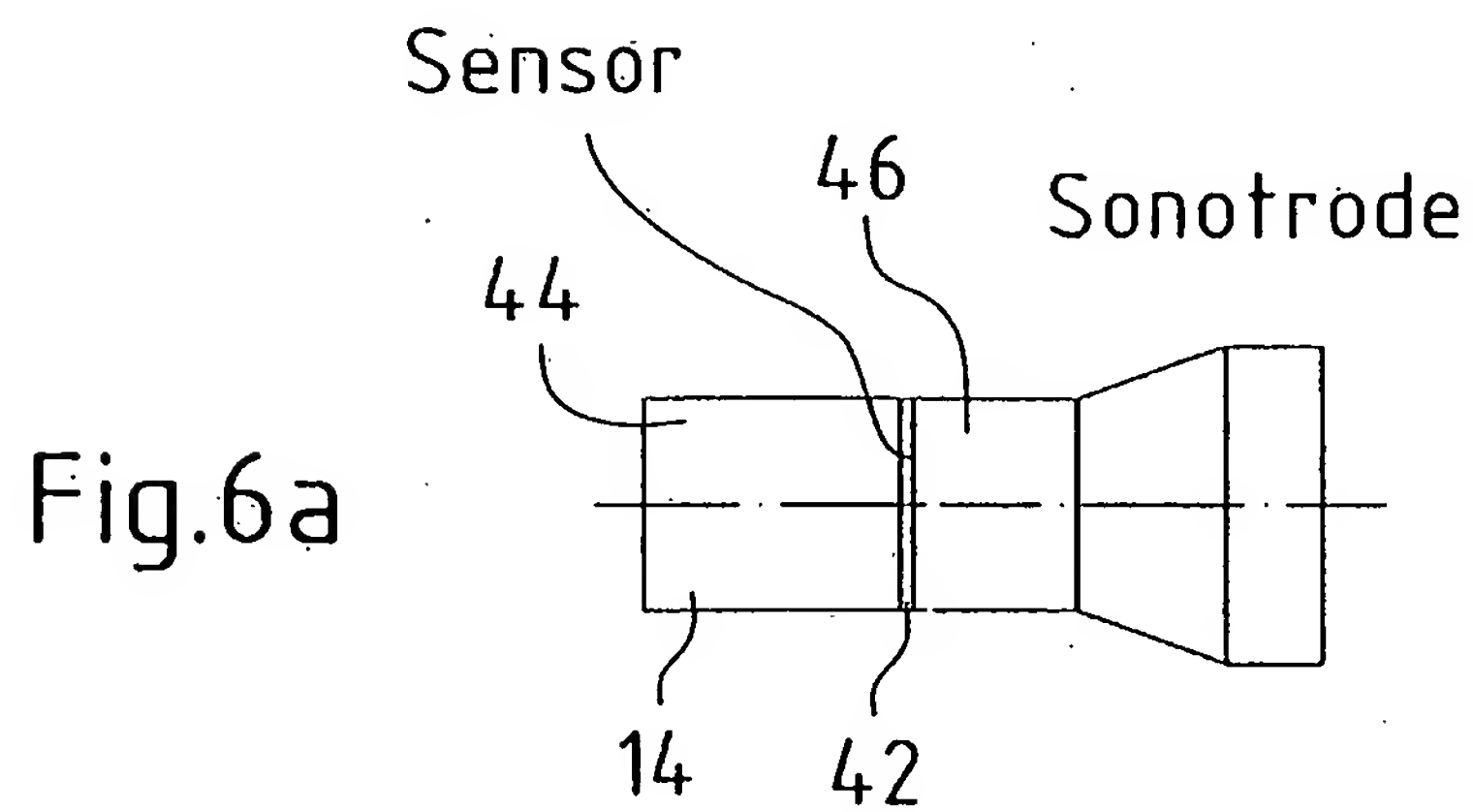
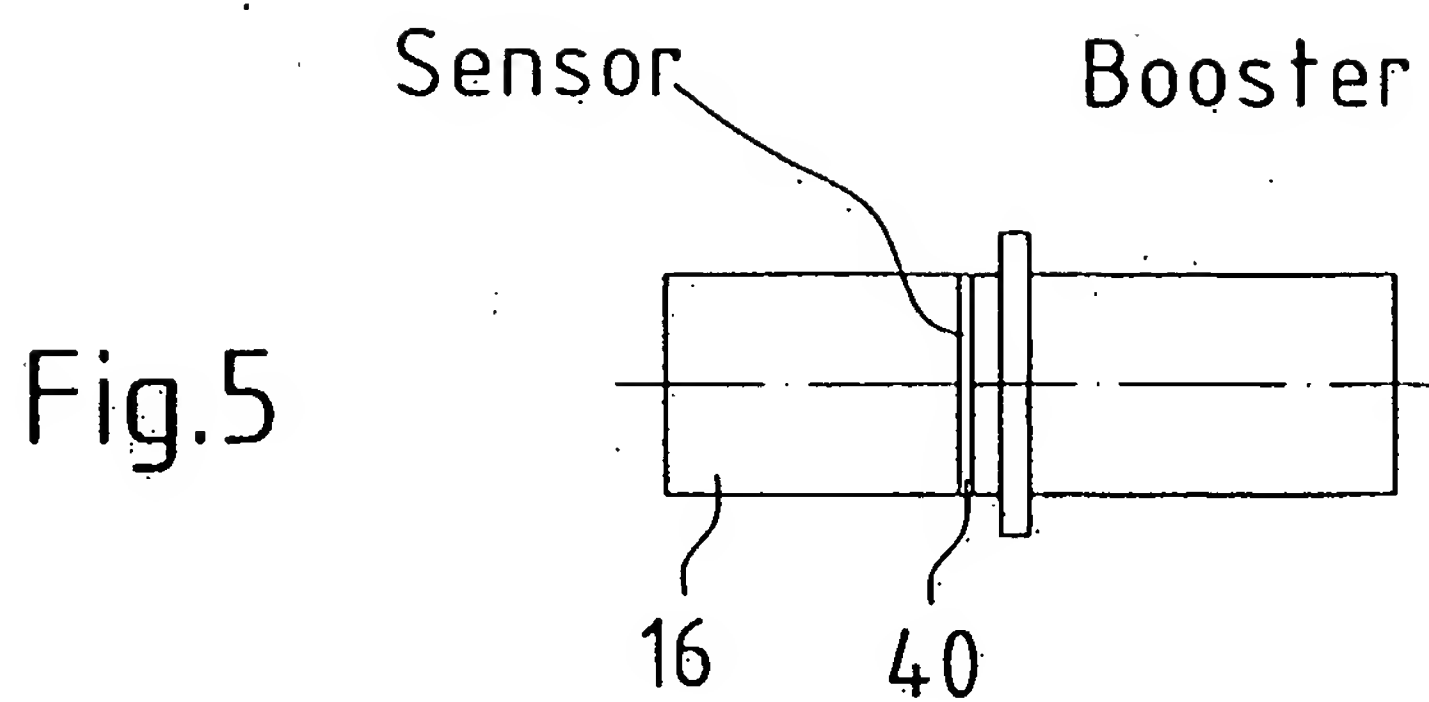


Fig.4





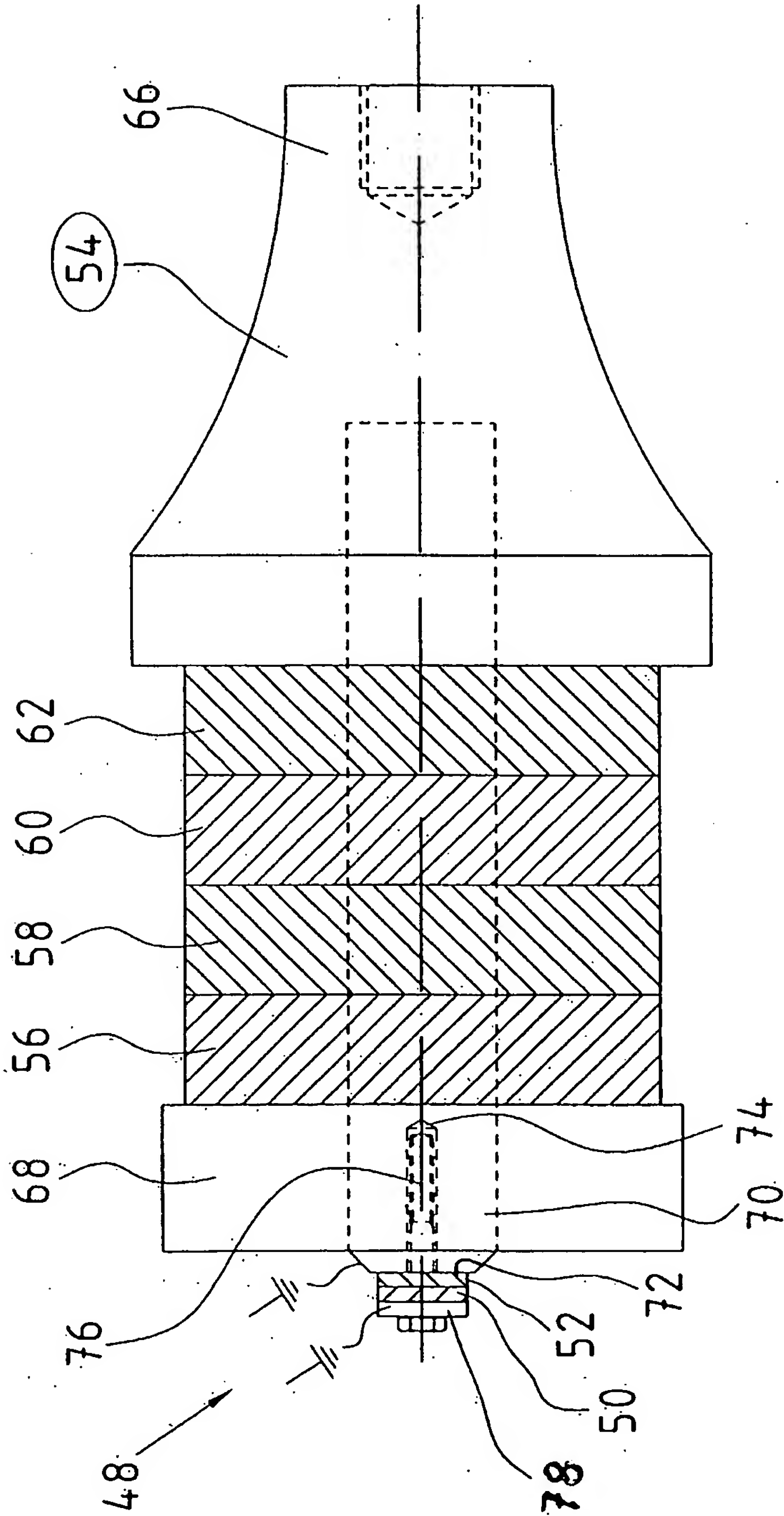


Fig. 7

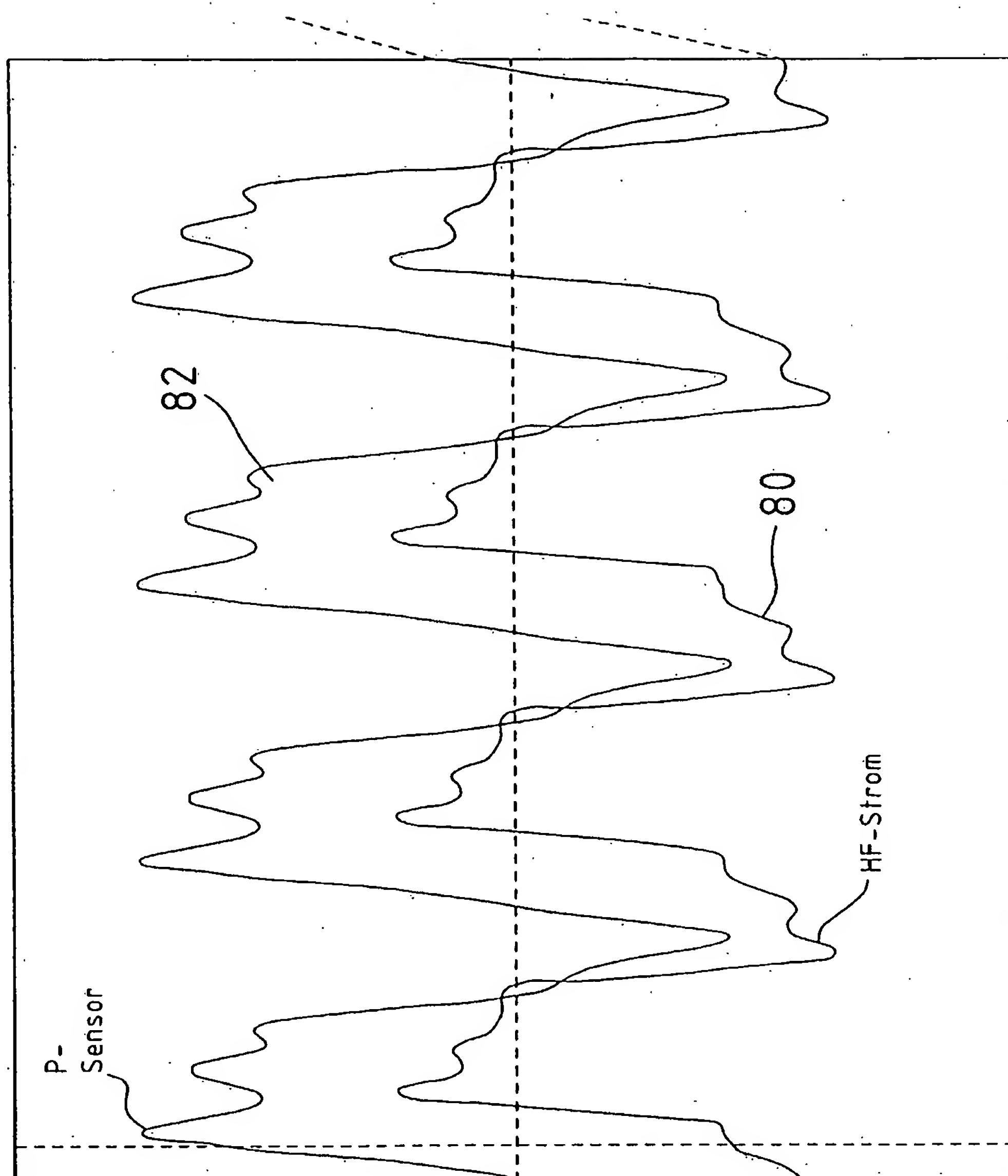


Fig. 8

